

Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo)

Bernadet Josopandojo, dan Alfian Purnomo

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: alfianpurnomo@gmail.com

Abstrak—Dalam pengolahan air minum, desinfektan yang paling umum digunakan adalah senyawa klor. Natural Organic Matter (NOM) yang ada pada air baku bereaksi dengan senyawa klor melalui klorinasi dapat menghasilkan produk sampingan seperti trihalometana (THM) yang memberikan dampak buruk kepada kesehatan. Penelitian ini memprediksi konsentrasi total trihalometana (TTHM) dengan 7 rumus empiris dan membandingkan kemampuan kedua jenis instalasi di lokasi yaitu konvensional dan ultrafiltrasi. Sampel diambil dan dianalisis untuk 6 jenis parameter yakni pH, suhu, dosis klor, COD, UV254, dan waktu kontak. Konsentrasi TTHM diprediksi dengan 7 rumus empiris dan dipilih rumus yang paling sesuai oleh metode ranking. Kemudian, kemampuan kedua instalasi dihitung dengan rumus removal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rumus yang memiliki hubungan dan kesesuaian terbesar terhadap kondisi penelitian ini adalah rumus 7. Rumus 7 ini memiliki nilai kesesuaian 0,8644. Kemudian, hasil perhitungan kemampuan jenis instalasi menunjukkan dari sebagian besar data bahwa pengolahan konvensional (rata-rata 23,8428%) memiliki kemampuan yang lebih baik dari pengolahan ultrafiltrasi (rata-rata 16,6630%) dalam meminimalisasi konsentrasi TTHM.

Kata Kunci—Klorinasi, Natural Organic Matter (NOM), Pengolahan Konvensional, Total Trihalometana (TTHM), Ultrafiltrasi (UF)

I. PENDAHULUAN

DALAM pengolahan air minum, desinfeksi dilakukan untuk menghilangkan bahaya mikroorganisme yang terkandung di air baku terhadap pemakai air. Klorin relatif murah, tersedia secara bebas dan dapat diangkut dan disimpan dengan relatif mudah. Selain itu, ia memiliki aktivitas spektrum luas terhadap sebagian besar patogen yang terbawa air (virus, bakteri, dan protozoa) [1]. Sehingga, pada pengolahan air minum, senyawa klor merupakan desinfektan yang paling umum [2].

Pada saat yang sama, klorinasi mengandung risiko pembentukan produk samping klorinasi atau *chlorination by-products* (CBP) seperti *trihalomethanes* (THM), yang dibentuk oleh reaksi klorin dengan senyawa organik yang ada secara alami di air [3]. Sumber terbesar paparan manusia terhadap THM di Amerika adalah dari konsumsi air minum terklorinasi. Bukti efek keseluruhan THM diduga menyerupai kloroform pada manusia yang telah diperoleh selama penggunaannya di masa lalu sebagai anastesi inhalasi. Selain efek sistem saraf pusat, anastesi kloroform dikaitkan dengan aritmia jantung dan kelainan pada hati dan ginjal, serta dalam jangka panjang berpotensi menyebabkan kanker.

Pembentukan THMs selama klorinasi air minum perlu dipantau untuk memastikan sesuai dengan baku mutu yang

Tabel 1.

| Rumus-Rumus Empiris untuk Menghitung Konsentrasi TTHM | |
|---|--|
| Rumus | C_{TTHM} ($\mu\text{g/L}$) |
| 1 | $12,72TOC^{0,291}tc^{0,271}D^{-0,072}$ |
| 2 | $108,80TOC^{0,2466}tc^{0,2956}UV_{254}^{0,9919}D^{0,126}$ |
| 3 | $131,75tc^{0,2931}UV_{254}^{1,075}D^{0,1064}$ |
| 4 | $0,0001D^{3,14}pH^{1,56}TOC^{0,69}tc^{0,175}$ |
| 5 | $14,6(pH - 3,8)^{1,01}D^{0,206}UV_{254}^{0,849}tc^{0,306}$ |
| 6 | $16,9 + 16,0TOC + 3,319D - 1,135T + 1,139tc$ |
| 7 | $1,33 + 2,612TOC + 0,102D + 0,255T + 0,102tc$ |

Keterangan:

tc = waktu kontak (jam)

D = dosis klor (mg/L)

TOC = Total Organic Carbon (mg/L)

pH = derajat keasaman

UV₂₅₄ = absorbansi pada panjang gelombang 254 nm (cm⁻¹)

T = suhu (°C)

Tabel 2.

Dosis Klor yang digunakan di IPA Siwalanpanji 9 Maret 2020 – 12 Maret 2020

| Tanggal | Dosis Klor (mg/L) |
|-----------|-------------------|
| 9/3/2020 | 0,0775 |
| 10/3/2020 | 0,1183 |
| 11/3/2020 | 0,1544 |
| 12/3/2020 | 0,1557 |

Tabel 3.

| Waktu Kontak Setiap Titik Sampling | |
|------------------------------------|--------------------|
| Titik Sampling | Waktu Kontak (jam) |
| AB | 0 |
| SP | 0,0833 |
| BP | 1,1667 |
| UF | 1,4167 |
| K | 2,0833 |

ada [4]. Di Indonesia terdapat baku mutu untuk trihalometana yang terdiri dari 4 jenis yaitu *bromoform*, *dibromochloromethane* (DBCM), *bromodichloromethane* (BDCM), dan *chloroform*. Laju dan derajat pembentukan THM adalah fungsi dari banyak parameter seperti dosis klorin dan residu, dan karbon organik [5]. Total dari seluruh jenis THM disebut sebagai total trihalometana (TTHM). Baku mutu untuk TTHM di Amerika adalah 80 $\mu\text{g/L}$ [6].

Sumber utama paparan CBP kepada populasi adalah air keran, melalui konsumsi, inhalasi, dan penyerapan oleh kulit [7]. Inhalasi dan penyerapan oleh kulit bertanggung jawab atas paparan terbesar pada kebanyakan paparan CBP, terutama *trihalomethanes* (THMs), paparan yang terutama terjadi selama mandi [8]. Sebagian besar kloroform di udara dalam ruangan hadir sebagai akibat dari volatilisasi dari air minum. Sebuah studi pemodelan menemukan nilai paparan kloroform tertinggi di antara orang dewasa yang mandi 30 menit setiap hari. Paparan kloroform di udara dalam ruangan sangat berpengaruh di negara-negara dengan rumah-rumah

Tabel 4.
Nilai UV₂₅₄ Setiap Sampel

| Titik Sampling | UV ₂₅₄ | | | |
|----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 0,069 | 0,035 | 0,053 | 0,073 |
| SP | 0,108 | 0,06 | 0,067 | 0,073 |
| BP | 0,063 | 0,044 | 0,038 | 0,056 |
| UF | 0,052 | 0,064 | 0,036 | 0,033 |
| K | 0,075 | 0,036 | 0,063 | 0,036 |

Tabel 5.
Konsentrasi TOC Setiap Sampel

| Titik Sampling | TOC (mg/L) | | | |
|----------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 23,5413 | 23,5413 | 16,9951 | 23,0737 |
| SP | 15,1247 | 29,1523 | 16,5275 | 17,9302 |
| BP | 19,3330 | 19,8006 | 11,3841 | 19,3330 |
| UF | 18,3978 | 15,5923 | 9,0461 | 17,4627 |
| K | 13,7220 | 14,1896 | 14,6572 | 15,1247 |

Tabel 6.
Nilai pH Setiap Sampel

| Titik Sampling | pH | | | |
|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 7,34 | 7,61 | 7,98 | 7,62 |
| SP | 7,13 | 7,42 | 7,87 | 7,45 |
| BP | 7,25 | 7,39 | 7,96 | 7,45 |
| UF | 7,30 | 7,44 | 7,98 | 7,43 |
| K | 7,15 | 7,40 | 7,92 | 7,41 |

Tabel 7.
Suhu Setiap Sampel

| Titik Sampling | Suhu (°C) | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 32 | 31,5 | 31 | 31 |
| SP | 30 | 31 | 30 | 30,5 |
| BP | 28,5 | 30 | 30 | 31 |
| UF | 29 | 31 | 29,5 | 31 |
| K | 28 | 30 | 30,5 | 31 |

yang memiliki tingkat ventilasi yang rendah dan seringnya frekuensi untuk mandi. IPA Siwalanpanji merupakan salah satu IPA yang menggunakan klor untuk desinfeksi. Instalasi juga berada di lokasi yang tingkat frekuensi mandi yang cukup tinggi akibat iklim di Indonesia dengan suhu udara yang tinggi [9]. Suhu yang tinggi dapat meningkatkan laju pembentukan THM [10].

Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji merupakan salah satu instalasi pengolahan air minum milik Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Delta Tirta di Kabupaten Sidoarjo. Sumber air baku IPA Siwalanpanji berasal dari Afvoer Buduran dengan konsentrasi COD 21-46 mg/L. Kemudian, pengujian yang dilakukan secara rutin di IPA Siwalanpanji yang berkaitan dengan klorinasi adalah pengujian sisa klor. Sehingga, pengujian tidak memfokuskan kepada produk sampingan yang berpotensi terbentuk. Oleh karena itu, penelitian ini ingin memfokuskan potensi pembentukan THM yang dapat memberikan dampak buruk kepada pemakainya.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya telah didapat rumus-rumus pendekatan konsentrasi TTHM [11]. Konsentrasi TTHM didapat dari faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan THM seperti pH, suhu, kandungan organik, dosis klor yang digunakan, dan waktu kontak dengan senyawa klor. Sehingga, dari faktor pembentuk tersebut dapat diprediksi konsentrasi TTHM.

IPA Siwalanpanji memiliki 6 instalasi pengolahan air yang terdiri dari 2 jenis pengolahan yaitu instalasi konvensional

Tabel 8.
Konsentrasi TTHM dengan Rumus 1

| Titik Sampling | CTTHM1 (mg/L) | | | |
|----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| SP | 0,0172 | 0,0202 | 0,0168 | 0,0172 |
| BP | 0,0378 | 0,0369 | 0,0308 | 0,0359 |
| UF | 0,0392 | 0,0363 | 0,0304 | 0,0367 |
| K | 0,0400 | 0,0392 | 0,0388 | 0,0391 |

Tabel 9.
Konsentrasi TTHM dengan Rumus 2

| Titik Sampling | CTTHM2 (mg/L) | | | |
|----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| SP | 0,0071 | 0,0055 | 0,0052 | 0,0039 |
| BP | 0,0103 | 0,0106 | 0,0099 | 0,0139 |
| UF | 0,0092 | 0,0076 | 0,0069 | 0,0071 |
| K | 0,0145 | 0,0082 | 0,0115 | 0,0064 |

Tabel 10.
Konsentrasi TTHM dengan Rumus 3

| Titik Sampling | CTTHM3 (mg/L) | | | |
|----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| SP | 0,0038 | 0,0024 | 0,0026 | 0,0019 |
| BP | 0,0050 | 0,0050 | 0,0054 | 0,0068 |
| UF | 0,0044 | 0,0038 | 0,0039 | 0,0034 |
| K | 0,0078 | 0,0041 | 0,0058 | 0,0031 |

Tabel 11.
Konsentrasi TTHM dengan Rumus 4

| Titik Sampling | CTTHM4 (mg/L) | | | |
|----------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| SP | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| BP | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| UF | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| K | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |

dan instalasi dengan ultrafiltrasi (UF). Terdapat 5 instalasi konvensional dan 1 instalasi dengan UF. Oleh karena itu, kandungan THM yang keluar dari outlet masing-masing instalasi akan terolah secara berbeda. Kedua jenis instalasi ini dapat dibandingkan dalam kemampuannya untuk reduksi kandungan THM. Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui unit yang lebih baik dalam reduksi THM.

Sehingga, penelitian ini memiliki 2 tujuan. Pertama, menentukan rumus prediksi konsentrasi TTHM yang paling sesuai dari 7 rumus empiris. Kedua, melakukan perbandingan kemampuan instalasi konvensional dan ultrafiltrasi di IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi kandungan TTHM.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Sampel diambil pada tanggal 9 Maret 2020 hingga 12 Maret 2020 di Afvoer Buduran dan IPA Siwalanpanji, Kabupaten Sidoarjo. Terdapat 6 instalasi di IPA Siwalanpanji dengan 2 intake. Pada penelitian ini, difokuskan pada sistem dari intake barat karena merupakan intake utama dalam instalasi. Pengambilan sampel dilakukan selama 4 hari berturut-turut dari jam 11.00 hingga 13.10 WIB. Kemudian, sampel dianalisis di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air, Departemen Teknik Lingkungan FTSPK ITS.

B. Pengumpulan Data

Ada 2 jenis data yang dikumpulkan untuk penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang

Tabel 12.
Konsentrasi TTHM dengan Rumus 5

| Titik Sampling | CTTHM5 (mg/L) | | | |
|-------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| SP | 0,0019 | 0,0015 | 0,0018 | 0,0012 |
| BP | 0,0029 | 0,0031 | 0,0040 | 0,0042 |
| UF | 0,0027 | 0,0026 | 0,0031 | 0,0024 |
| K | 0,0043 | 0,0028 | 0,0044 | 0,0023 |

Tabel 13.
Konsentrasi TTHM dengan Rumus 6

| Titik Sampling | CTTHM6 (mg/L) | | | |
|-------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 0,3572 | 0,3578 | 0,2536 | 0,3509 |
| SP | 0,2252 | 0,4486 | 0,2479 | 0,2698 |
| BP | 0,2955 | 0,3014 | 0,1668 | 0,2929 |
| UF | 0,2802 | 0,2332 | 0,1303 | 0,2632 |
| K | 0,2073 | 0,2126 | 0,2197 | 0,2266 |

dikumpulkan adalah sampel air baku dan sampel air dari unit pengolahan di beberapa titik setelah penambahan senyawa klor. Data primer didapat dari uji pada sampel. Sampel yang diambil adalah sampel dari air baku, dan air olahan di instalasi. Sampel diambil 4 hari berturut-turut pada 5 titik yaitu Afvoer Buduran (AB), inlet (SP) dan outlet (K) konvensional, dan inlet (BP) dan outlet (UF) ultrafiltrasi.

Kemudian, data sekunder didapatkan dari laporan tahunan dan harian IPA Siwalanpanji di Kabupaten Sidoarjo. Data sekunder yang didapatkan adalah kandungan organik air baku, dosis penggunaan klor. Data tersebut dapat membantu menunjang data primer yang didapat. Lalu, data berupa diagram alir, debit, dan waktu detensi setiap unit dibutuhkan untuk menghitung waktu yang tepat untuk pengambilan sampel.

C. Pengolahan Data

Dilakukan pengujian untuk mendapat konsentrasi TTHM. Pengujian konsentrasi TTHM pada air sampel menggunakan pendekatan rumus. Banyaknya parameter yang dapat mempengaruhi pembentukan THM seperti pH, dosis klor, suhu, waktu kontak, dan, kandungan organik. Dilakukan 4 uji yaitu:

- 1) Uji suhu dilakukan langsung di lokasi sampling dengan thermometer air raksa.
- 2) Uji pH dilakukan dengan alat pengukur pH merek OHAUS Starter 3100 Bench Meter.
- 3) Pengujian kandungan organik akan dilakukan dengan uji COD. COD akan dikonversi ke TOC dengan perbandingan dimana nilai TOC merupakan 0,94 dari nilai COD [12]. Uji COD dilakukan dengan metode reflus tertutup kolorimetri. Proses digestion COD dilakukan dengan pemanas atau digester merek Macherey-Nagel Heating Block Nanocolor Vario 4. Kemudian, pengukuran absorbansinya dilakukan dengan spektrofotometer merek Genesys 30.
- 4) Uji Uv-Vis dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis merek Genesys 150.

Ada 7 rumus yang dapat dihitung dan dibandingkan dari parameter-parameter yang diukur yang dilihat pada Tabel 1.

Setelah dihitung konsentrasi TTHM dengan ketujuh rumus, dilakukan pemilihan rumus yang paling sesuai oleh metode ranking. Metode ranking adalah metode yang paling sederhana untuk pemberian nilai bobot. Intinya setiap

Tabel 14.
Konsentrasi TTHM dengan Rumus 7

| Titik Sampling | CTTHM5 (mg/L) | | | |
|-------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| | 9/3/2020 | 10/3/2020 | 11/3/2020 | 12/3/2020 |
| AB | 0,0547 | 0,0548 | 0,0378 | 0,0537 |
| SP | 0,0332 | 0,0696 | 0,0369 | 0,0404 |
| BP | 0,0447 | 0,0455 | 0,0235 | 0,0441 |
| UF | 0,0421 | 0,0343 | 0,0176 | 0,0392 |
| K | 0,0303 | 0,0310 | 0,0321 | 0,0332 |

Tabel 15.
Hasil Perhitungan Bobot Setiap Faktor

| Faktor | Ranking | Bobot |
|----------------|---------|--------|
| R ² | 1 | 0,3333 |
| Lokasi | 2 | 0,2667 |
| Jenis Klor | 3 | 0,2000 |
| Suhu | 4 | 0,1333 |
| pH | 5 | 0,0667 |

parameter akan disusun berdasarkan ranking [13]. Berikut adalah rumus pembobotan dengan ranking:

$$w_j = (n - r_j + 1) / \sum (n - r_p + 1) \quad (1)$$

Dimana:

w_j = bobot normal untuk parameter j

n = jumlah parameter

r_j = ranking parameter j

r_p = ranking parameter

Kemudian, dihitung persentase removal TTHM dari nilai konsentrasi TTHM di titik sebelum dan sesudah 2 jenis unit yang berbeda (konvensional dan UF) dengan rumus:

$$\% \text{ removal TTHM} = \frac{\text{Konsentrasi TTHM inlet Unit} - \text{Konsentrasi TTHM outlet unit}}{\text{Konsentrasi TTHM inlet unit}} \times 100\% \quad (2)$$

Dari rumus tersebut, kemampuan kedua jenis instalasi pengolahan dalam reduksi konsentrasi TTHM dapat dihitung. Kemudian, hasil perhitungan kemampuan kedua jenis instalasi dapat dibandingkan. Sehingga, dapat diketahui instalasi dengan performa yang lebih baik dalam meminimalisasi TTHM.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Parameter

Dilakukan pengambilan dan pengujian 6 parameter yaitu dosis klor, waktu kontak (tc), absorbansi UV-Vis, konsentrasi TOC, pH dan suhu. Dosis klor dan waktu kontak adalah data sekunder yang didapat dari IPA Siwalanpanji. Kemudian, data primer yang diuji secara langsung adalah absorbansi UV-Vis, konsentrasi TOC, pH dan suhu dengan total 20 sampel. Dosis Klor yang digunakan di IPA Siwalanpanji dapat dilihat pada Tabel 2. Waktu kontak setiap titik sampling dapat dilihat pada Tabel 3.

Parameter untuk mengukur organik adalah UV₂₅₄ dan TOC. Konsentrasi TOC didapat dari konversi konsentrasi COD. Keempat parameter diukur selama 4 hari berturut-turut di 5 titik sampling yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Parameter selanjutnya adalah pH dan suhu. Suhu dan pH juga berperan dalam laju pembentukan THM. Kedua parameter tersebut diukur secara langsung di lokasi pengambilan sampel yang dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 16.
Penilaian Kesesuaian Kelima Faktor Setiap Rumus

| Rumus | R ² | Lokasi (L) | Jenis Klor (JK) | Suhu (S) | pH |
|-------|----------------|------------|-----------------|----------|----|
| 1 | 0,9448 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,9692 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0,9546 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0,7685 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 0,981 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | 0,78 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0,8 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Tabel 17.
Nilai dan Ranking Kesesuaian Setiap Rumus

| Rumus | Nilai Kesesuaian | Ranking Kesesuaian |
|-------|------------------|--------------------|
| 1 | 0,5813 | 5 |
| 2 | 0,5894 | 3 |
| 3 | 0,5846 | 4 |
| 4 | 0,3226 | 7 |
| 5 | 0,3934 | 6 |
| 6 | 0,8597 | 2 |
| 7 | 0,8664 | 1 |

B. Prediksi Konsentrasi TTHM dengan 7 Rumus Empiris

Konsentrasi TTHM dihitung berdasarkan data parameter dan ketujuh rumus empiris. Dosis klor dan konsentrasi organik merupakan parameter yang paling penting dari semua parameter karena pembentukan THM berasal dari reaksi yang melibatkan zat organik, dengan dosis klorin [14]. Ketika bahan organik alami diklorinasi, konsentrasi produk sampingan desinfeksi meningkat dengan meningkatnya waktu kontak [15]. Oleh karena itu, peningkatan waktu kontak juga dapat menyebabkan meningkatnya konsentrasi TTHM yang dihasilkan. Konsentrasi organik sebagai salah satu pembentuk THM yang utama. Organik yang merupakan prekursor dalam pembentukan THM adalah *natural organic matter* (NOM). NOM dapat dinyatakan dengan TOC ataupun UV254 [16]. Semakin tinggi temperatur dan pH air [10], maka laju pembentukan THM semakin meningkat yang dapat dilihat pada Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Rumus 1 hingga 3 yang dimodelkan dari sampel yang diambil dari instalasi pengolahan air di Pen-Hsing. Suhu dalam penelitiannya adalah 20 ± 2 °C [17]. Sedangkan, pH dikontrol dengan buffer agar berkisar 7 yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Rumus 4 menganalisa air baku dan air keran dari beberapa lokasi di komunitas Newfoundland [18]. Lokasi pengambilan sampel ada 7 yaitu. Keels, Clarendville, Ferryland, Bonavista, Burin, St. John-1, dan St. John-2. Suhu dikontrol pada 23 ± 1 °C.

Rumus 5 mendapatkan sampel dari 12 lokasi di sungai Mississippi dari New Orleans, LA ke Minneapolis, MN dan di Sungai Missouri dan Ohio 1,6 km di hulu dari pertemuan mereka dengan Mississippi [19]. Suhu dikontrol pada 25 °C yang dapat dilihat pada Tabel 12.

Rumus 6 dan 7 mendapatkan sampel dari 3 utilitas utama di Kota Quebec, yaitu Charlesbourg, Quebec City, dan Sainte Foy [20]. Rumus ini tidak mengontrol suhu dan pH, tetapi menggunakannya sebagai variabel dalam pemodelan rumusnya. Berdasarkan ketujuh rumus tersebut, dilakukan pemilihan rumus paling sesuai yang dapat dilihat pada Tabel 13 dan Tabel 14.

Digunakan metode ranking untuk pemilihan rumus dengan faktor pembandingnya antara lain adalah jenis klor yang digunakan, lokasi penelitian, pH, suhu, dan r square. Faktor diurutkan berdasarkan tingkat kepentingannya dan dihitung

bobot dengan rumus pembobotan metode ranking (1) yang dapat dilihat pada Tabel 15.

Kemudian, diberi penilaian kesesuaian setiap faktor. R square didapat dari penelitian masing-masing rumus. Sedangkan, faktor lainnya berdasarkan kesesuaian kondisi di IPA Siwalanpanji dengan kondisi penelitian masing-masing rumus. Nilai 0 menyatakan tidak sesuai dan nilai 1 menyatakan sesuai. Berdasarkan penilaian tersebut, maka dapat dihitung nilai kesesuaian masing-masing rumus dimana yang paling mendekati 1 adalah yang paling sesuai yang dapat dilihat pada Tabel 16.

Setelah didapatkan bobot masing-masing faktor dan penilaian setiap rumus terhadap faktor, maka dihitung nilai kesesuaian total setiap rumusnya. Setiap rumusnya dihitung kesesuaiannya dengan perkalian bobot faktor dengan penilaiannya dan dijumlahkan. Sehingga, didapat nilai kesesuaian dan rankingnya untuk setiap rumus yang dapat dilihat pada Tabel 17.

Rumus 7 memiliki nilai kesesuaian tertinggi terhadap kondisi di IPA Siwalanpanji, Kemudian, urutan selanjutnya adalah rumus 6, 2, 3, 1, 5, dan 4 secara berurutan. Rumus 4 merupakan rumus terakhir yang paling tidak sesuai dengan penelitian ini.

C. Perbandingan Kemampuan 2 Instalasi di IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi Kandungan TTHM

Perbandingan kemampuan kedua jenis instalasi menggunakan rumus 7 karena memiliki nilai kesesuaian tertinggi. Kemampuannya dihitung berdasarkan inlet dan outlet masing-masing instalasi. Persen kemampuannya didapat dengan rumus *removal* (2).

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, kedua instalasi dapat dilihat mampu meminimalisasi konsentrasi TTHM yang masuk ke pengolahan dan menghasilkan outlet dengan konsentrasi lebih kecil dari inletnya. Pada tanggal 9, 10, dan 12 Maret 2020, kemampuan pengolahan konvensional (8,8849; 55,5006 dan 17,9445%) lebih baik dari pengolahan ultrafiltrasi (5,6944; 24,6462 dan 25,2810%). Sebaliknya, pada tanggal 11 Maret 2020, kemampuan pengolahan ultrafiltrasi (25,2810%) lebih baik dari pengolahan konvensional (13,0412%).

3 dari 4 hari uji sampel, konvensional dinyatakan memiliki kemampuan lebih baik dari pengolahan ultrafiltrasi. Berdasarkan rata-rata kemampuan dalam 4 hari, pengolahan

Tabel 18.
Persen Kemampuan Kedua Jenis Instalasi IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi TTHM (Rumus 7)

| Tanggal | % Removal TTHM | |
|-----------|----------------|---------------|
| | Konvensional | Ultrafiltrasi |
| 9/3/2020 | 8,8849 | 5,6944 |
| 10/3/2020 | 55,5006 | 24,6462 |
| 11/3/2020 | 13,0412 | 25,2810 |
| 12/3/2020 | 17,9445 | 11,0306 |

Tabel 19.
Persen Kemampuan Kedua Jenis Instalasi IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi COD

| Tanggal | % Removal TTHM | |
|-----------|----------------|---------------|
| | Konvensional | Ultrafiltrasi |
| 9/3/2020 | 9,2746 | 4,8372 |
| 10/3/2020 | 51,3260 | 21,2532 |
| 11/3/2020 | 11,3165 | 20,5368 |
| 12/3/2020 | 15,6468 | 9,6743 |

konvensional memiliki rata-rata 23,8428% dan pengolahan ultrafiltrasi 16,6630%.

Berdasarkan teorinya, organik merupakan pembentuk TTHM, maka organik merupakan parameter yang dapat menjadi prekursor dalam proses pembentukan TTHM. Sehingga, kemampuan pengolahan dalam meminimalisasi TTHM dapat dilihat dari kemampuan instalasi dalam meminimalisasi parameter pembentuk TTHM. Kemampuan kedua instalasi IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi COD juga dapat dihitung dengan rumus removal yang sama dengan perhitungan TTHM yang dapat dilihat pada Tabel 19.

Pada tanggal 9, 10, dan 12 Maret 2020, kemampuan pengolahan konvensional (9,2746; 51,3260 dan 15,6468%) lebih baik dari pengolahan ultrafiltrasi (4,8372; 21,2532 dan 9,6743%). Sebaliknya, pada tanggal 11 Maret 2020, kemampuan pengolahan ultrafiltrasi (20,5368%) lebih baik dari pengolahan konvensional (11,3165%). Hasilnya menunjukkan bahwa pengolahan konvensional di IPA Siwalanpanji juga memiliki kemampuan lebih baik dibandingkan ultrafiltrasi dalam meminimalisasi COD. Sehingga, berdasarkan teori prekursor, COD terbukti menjadi salah satu faktor terpenting dalam pembentukan TTHM.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji dan pembahasan dari penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: (1) Berdasarkan perbandingan ketujuh rumus empiris dari penelitian-penelitian terdahulu, rumus-rumus dinilai dengan 5 faktor pembandingan. Rumus yang memiliki nilai kesesuaian tertinggi adalah rumus 7. Rumus 7 memiliki nilai kesesuaian dengan kondisi IPA Siwalanpanji sebesar 0,8664 dimana nilai yang paling mendekati 1 adalah yang paling sesuai; (2) Berdasarkan sebagian besar data perhitungan removal, pengolahan kedua jenis instalasi dapat dibandingkan. Hasil perhitungan pengolahan ultrafiltrasi dari 4 data perhitungan semuanya bernilai positif dengan rata-rata 16,6630%. Hasil perhitungan pengolahan konvensional semua data juga bernilai positif dengan rata-rata 23,8428%. Lalu, 3 dari 4 menunjukkan persen yang lebih tinggi pada pengolahan konvensional. Sehingga, pengolahan ultrafiltrasi dan konvensional terbukti dapat meminimalisasi TTHM dalam pengolahannya. Namun, pada IPA Siwalanpanji, pengolahan konvensional memiliki kemampuan yang lebih baik daripada

pengolahan ultrafiltrasi dalam meminimalisasi konsentrasi TTHM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rajamohan *et al.*, "Trihalomethane formation potential of drinking water sources in a rural location," *Adv. Env. Res.*, vol. 1, pp. 181–189, 2012.
- [2] A. Masduqi and A. F. Assomadi, *Operasi dan Proses Pengolahan Air Edisi Kedua*, 2nd ed. Surabaya: ITS Press, 2016.
- [3] H. Gallard and U. von Gunten, "Chlorination of natural organic matter: kinetics of chlorination and of THM formation," *Water Res.*, vol. 36, no. 1, pp. 65–74, 2002.
- [4] A. A. Babaei, L. Atari, M. Ahmadi, K. Ahmadiangali, M. Zamanzadeh, and N. Alavi, "Trihalomethanes formation in Iranian water supply systems: predicting and modeling," *J. Water Health*, vol. 13, no. 3, pp. 859–869, 2015.
- [5] J. Sketchev, H. G. Peterson, and N. Christofi, "Disinfection by-product formation after biologically assisted GAC treatment of water supplies with different bromide and DOC content," *Water Res.*, vol. 29, no. 12, pp. 2635–2642, 1995.
- [6] G. Carty and N. Bourke, *Water Treatment Manuals Filtration*. Ireland: Environmental Protection Agency, 1995.
- [7] C. M. Villanueva *et al.*, "Assessment of lifetime exposure to trihalomethanes through different routes," *Occup. Environ. Med.*, vol. 63, no. 4, pp. 273–277, 2006.
- [8] X. Xu and C. P. Weisel, "Dermal uptake of chloroform and halo ketones during bathing," *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, vol. 15, no. 4, pp. 289–296, 2005.
- [9] S. Wirjomidjojo and Y. S. Swarinto, *Iklim kawasan Indonesia: dari aspek dinamik-sinoptik*. [Pusat Penelitian dan Pengembangan], Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2010.
- [10] R. B. Williams and G. L. Culp, *Handbook of Public Water Systems*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.
- [11] C. Di Cristo, G. Esposito, and A. Leopardi, "Modelling trihalomethanes formation in water supply systems," *Environ. Technol.*, vol. 34, no. 1, pp. 61–70, 2013.
- [12] M. L. San Diego-McGlone, S. V. Smith, and V. F. Nicolas, "Stoichiometric interpretations of C: N: P ratios in organic waste materials," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 40, no. 4, pp. 325–330, 2000.
- [13] J. Malczewski, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Hoboken: John Wiley & Sons, 1999.
- [14] A. T. Chow, "Disinfection byproduct reactivity of aquatic humic substances derived from soils," *Water Res.*, vol. 40, no. 7, pp. 1426–1430, 2006.
- [15] K. Özdemir, I. Toröz, and V. Uyuk, "Relationship among chlorine dose, reaction time and bromide ions on trihalomethane formation in drinking water sources in Istanbul, Turkey," *Asian J. Chem.*, vol. 26, no. 20, pp. 6935–6939, 2014.
- [16] K. Özdemir and Ö. Güngör, "Development of statistical models for trihalomethane (THM) removal in drinking water sources using carbon nanotubes (CNTs)," *Water SA*, vol. 44, no. 4, pp. 680–690, 2018.
- [17] V. Kelkar, "Analysis of chlorination and uv effects on microplastics using raman spectroscopy," Arizona State University, 2017.
- [18] R. L. Boyalla, "Formation and Modeling of Disinfection by-Products in Newfoundland Communities," Newfoundland: Memorial University of Newfoundland, 2004.
- [19] R. E. Rathbun, "Speciation of trihalomethane mixtures for the

Mississippi, Missouri, and Ohio Rivers,” *Sci. Total Environ.*, vol. 180, no. 2, pp. 125–135, 1996.

[20] J.-B. Sérodes, M. J. Rodriguez, H. Li, and C. Bouchard, “Occurrence

of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City area (Canada),” *Chemosphere*, vol. 51, no. 4, pp. 253–263, 2003